



STUDY OF U-SHAPED DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA

Boysunov Botir Pulat ugli¹, Korotkova Larisa Alexandrovna²

¹ Second-year student of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

² Senior Lecturer, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4742268>

ARTICLE INFO

Received: 20th April 2021
Accepted: 25th April 2021
Online: 30th April 2021

KEY WORDS

dielectric resonator antennas, broadband antennas, small antennas.

ABSTRACT

This article presents a U-shaped dielectric resonant antenna (DRA) of small size, but with a wide bandwidth. The antenna is made of a material with a very high dielectric constant ($\epsilon_r = 81$) and has a new shape that supports many modes. The size of the proposed antenna is smaller than that of other DRAS created for the 2.4 GHz – 3.0 GHz bands, while the achievable bandwidth resistance for $S_{11} < -10$ dB is about 22%. Thus, this antenna can be used for IEEE 802.11 b/g for WLAN (2.4-2.5 GHz) and LTE (2.5-2.7 GHz), and can also be modified for other frequency bands.

ИССЛЕДОВАНИЕ U-ОБРАЗНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ АНТЕННЫ

Бойсунов Ботир Пулат угли¹, Короткова Лариса Александровна²

¹ Студент второго курса Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

² Старший преподаватель Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова

ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Принято: 20 апреля 2021 г.
Утверждено: 25 апреля 2021 г.
Опубликовано: 30 апреля 2021 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

антенны с диэлектрическим резонатором, широкополосные антенны, малые антенны.

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлена U-образная диэлектрическая резонансная антенна (ДРА) небольшого размера, но с широкой полосой пропускания. Антенна изготовлена из материала с очень высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r = 81$) и имеет новую форму, которая поддерживает множество мод. Размер предлагаемой антенны меньше, чем у других DRAS, созданных для диапазонов 2,4–3,0 ГГц, в то время как достижимое сопротивление полосы пропускания для $S_{11} < -10$ дБ составляет около 22%. Таким образом, эта антенна может использоваться для IEEE 802.11 b / g для WLAN (2,4–2,5 ГГц) и LTE (2,5–2,7 ГГц), а также может быть модифицирована для других диапазонов частот.



I. ВВЕДЕНИЕ

Диэлектрические резонаторы использовались в фильтрах, генераторах и схемах СВЧ-схем задолго до 1983 года, когда это было замечено Лонгом и др. [1] что ДР, помещенные в открытые среды, имели низкий коэффициент качества излучения. Это привело к открытию нового вида излучающих антенных элементов, известных как диэлектрические резонансные антенны (ДРА). С тех пор ДРА получили большое внимание благодаря своим характеристикам, таким как высокая эффективность излучения за счет низких потерь рассеяния [2], простые схемы связи (подачи) со всеми линиями передачи, используемыми в СВЧ-и миллиметровых волнах. Кроме того, они обладают отличной устойчивостью к близкой отстройке от биологических тел [3]. ДРА предлагают привлекательный выбор для легких и недорогих антенн. Более того, поскольку ДРА могут возбуждать разные режимы (в зависимости от структуры питания), то из разных режимов для одной и той же антенны могут быть получены разные характеристики излучения [3]. Кроме того, еще одной очень важной особенностью ДРА является возможность быть компактным (небольшого размера) излучающим элементом для более низких диапазонов СВЧ-частот с высокой диэлектрической проницаемостью материала (более 20). Это связано с тем, что направленная длина волны λ_g внутри ДРА меньше рабочей длины волны в свободном пространстве λ_0 , как показано в уравнении (1).

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Таким образом, ДРА с высокой диэлектрической проницаемостью являются перспективными кандидатами для небольших, низкопрофильных и

компактных антенн в более низких диапазонах СВЧ-частот, таких как сотовые мобильные телефоны, WLAN, Bluetooth и LTE-системы.

Широко используются несколько ДРА, такие как прямоугольные, цилиндрические, полусферические и округлые формы. Прямоугольная форма имеет практические преимущества перед другими формами, потому что нет выраженного режима, как в других случаях, когда режим увеличит поперечную поляризацию. Кроме того, в отличие от сферических и цилиндрических форм, которые имеют один или два конструктивных параметра, прямоугольная имеет три конструктивных параметра (длина, ширина и высота). Что означает, что прямоугольный ДРА предлагает два аспектных соотношения (длина/высота и длина/ширина), которые могут использоваться независимо, что дает большую гибкость при проектировании ДРА. Они оказывают значительное влияние на рабочую полосу пропускания при заданной резонансной частоте и диэлектрической проницаемости [4]. Одним из основных недостатков, делающих ДРА непригодным для большинства современных коммуникационных приложений, является узкая полоса пропускания. Чтобы преодолеть это ограничение, за последние два десятилетия было описано несколько методов повышения пропускной способности. Первым представленным подходом была многослойная структура ДРА [5], при использовании различных вертикальных слоев с различными диэлектрическими материалами в структуре ДРА образуются множественные резонансы, обеспечивающие непрерывную широкую полосу пропускания. Однако эта техника



имеет трудности в изготовлении и использует большое пространство. Введение воздушного зазора между ДРА и плоскостью земли было использовано для увеличения полосы пропускания ДРА в работе [6], но этот метод увеличивает резонансную частоту, кроме того, для ДРА необходимы держатели, что на практике означает сложность. Для увеличения общей полосы пропускания использовалась гибридная конструкция (ДРА с другими излучающими элементами), как и в работе [7], излучение создавалось за счет использования схем подачи в качестве излучающего элемента. Пропускная способность также может быть увеличена путем введения изогнутой выемки в ДРА [8]. Более того, такие модификации формы ДРА были применены для получения лучших характеристик полосы пропускания; трапециевидная форма [9], Z-образная форма ДРА [10], H-образное [11], коническая форма [12] и тетраэдрическая форма.

Однако лишь немногие исследовали ДРА с очень высокой диэлектрической проницаемостью (более 77). В основном это связано с очень узкой полосой пропускания для такого рода антенн. В данной работе новая антенна ДРА получена из прямоугольной ДРА. Предлагаемая антенна моделируется с помощью CST Microwave Studio и предназначена для работы на относительно низких частотах, таких как WLAN и LTE. Он имеет небольшие размеры и изготовлен из материала с высокой диэлектрической проницаемостью в контейнере из ПВХ в качестве основной части ДРА. Для увеличения полосы пропускания при сохранении относительно малых размеров по сравнению с существующими в литературе конструкциями введена U-

образная антенна с несимметричной толщиной, питаемая коаксиальным зондом.

II. КОНСТРУКЦИЯ АНТЕННЫ

Как уже упоминалось во введении, для низкочастотных применений особый интерес представляют небольшие ДРА. Для достижения этой цели следует использовать материал с высокой диэлектрической проницаемостью, но это будет происходить за счет очень узкой полосы пропускания. Это связано с тем, что добротность ДРА увеличивается с увеличением $\epsilon^{3/2}_r$ [4]. Эффективная методика повышения пропускной способности для ДРА с высокой диэлектрической проницаемостью была введена в 2004 году. Просто, используя два параллельных подхода для уменьшения Qfactor; первый - путем выбора формы ДРА, минимизирующей отношение объема к поверхности, а второй - путем возбуждения более чем одной резонансной моды, близкой друг к другу. Эффект отношения объема к поверхности показан в уравнении (2), где уменьшение отношения объема к поверхности означает уменьшение параметра Q и, следовательно, увеличение полосы пропускания.

$$Q = 2\omega_0 \frac{\text{Накопленная энергия}}{\text{Излучаемая мощность}} \propto 2\omega_0 \epsilon^p_r \left(\frac{\text{Объем}}{\text{Поверхность}} \right)^s \quad (2)$$

Где ϵ_r - диэлектрическая проницаемость, ω_0 - угловая резонансная частота, p -около 1.5 и $1 \leq s < p$.

На основе этого подхода была разработана ДРА прямоугольной ДРА формы (длина = 25 мм, ширина = 2 мм и высота = 23 мм) размером $0,00064 \times 30$ с очень высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r = 80$) керамического материала с тангенсом потерь 0,0005 на частоте 2 ГГц, результирующая полоса

пропускания составила (2,17 ГГц – 2,77 ГГц) с полосой пропускания 25%. Кроме того, для мобильных телефонов (1,73 ГГц – 2,03 ГГц) с размером 0,00064×30 и полосой пропускания 15,9% был разработан смещенный от центра цилиндрический ДРА с очень высокой диэлектрической проницаемостью керамического материала ($\epsilon_r = 77$) [15]. Хотя в этих конструкциях ДРА было достигнуто увеличение полосы пропускания, мало внимания уделялось компактности антенной конструкции, особенно высоте антенны, которая иногда является ограничивающим параметром. В большинстве представленных работ использовались твердые диэлектрические материалы, и существуют некоторые трудности изготовления, такие как проблема сверления при формировании ДРА, в то время как жидкий диэлектрический материал имеет преимущество перед твердыми, поскольку различные формы могут быть легко сконструированы. Таким образом, диэлектрическим материалом, используемым в предлагаемом ДРА, является чистая вода с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 81$, заключенная в контейнер из ПВХ.

По той же методике, что и в работе [15], U-образная структура ДРА с асимметричной толщиной, как показано на рис.1, расположена в правом краевом углу плоскости грунта с размерами W_g и L_g . Вместо микрополосковой связи это обычно используется для ДРА с черепичной формой для упрощения конструкции, избегая проблемы сверления, предлагаемый ДРА подается зондовой подачей, так как используется жидкий материал и нет необходимости в сверлении. Результаты моделирования показывают, что это может увеличить полосу пропускания без дальнейшего увеличения

высоты антенны, как в U-образный ДРА состоит из трех прямоугольных плиток разной длины и ширины; два из них расположены в плоскости YZ, ортогональной основному, имеющему длину a , ширину g_4 и высоту b , эти размеры определены с помощью обычной модели диэлектрического волновода (CDWM) [4] на частоте 2,7 ГГц, расчетные размеры с использованием уравнений (3) и (4) составляют 25 мм, 1,8 мм и 9 мм соответственно.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (3)$$

$$k_x = \frac{\pi}{a} \quad (3.a)$$

$$k_z = \frac{\pi}{2b} \quad (3.b)$$

$$k_0 = \frac{2\pi f_0}{c} \quad (3.c)$$

$$k_x = \frac{2}{g_4} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_y^2}}{k_y} \right) \quad (4)$$

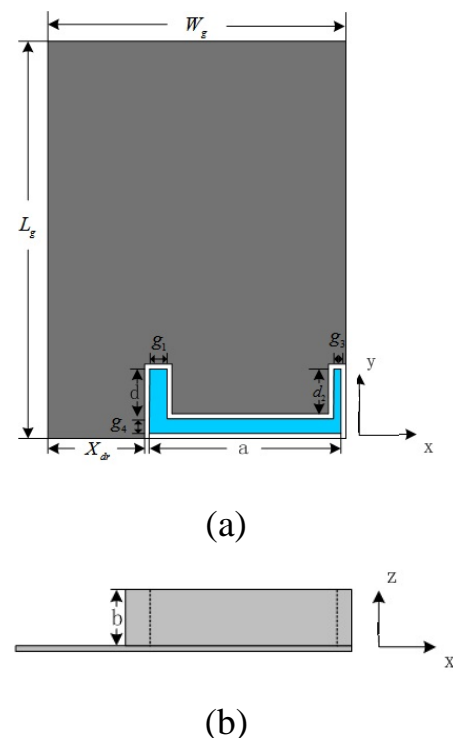


Рис. 1. Предлагаемая U-образная ДРА антенна: (а) вид сверху, (б) вид сбоку.



III. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Начальное параметрическое исследование начинается для основного сегмента DRA (XZ-сегмент), где другие сегменты не существуют ($d = d_2 = 0$). Изучено влияние таких параметров на резонансные частоты и полосу пропускания импеданса, более тесная связь с ДРА достигается при увеличении длины зонда до 7,25 мм. положение конструкции над плоскостью земли также влияет на величину резонансных частот так, что Y-положение $Y_{dr} = 0$ и X-положение $X_{dr} = 13$ мм. Размеры плоскости заземления устанавливаются равными $L_g = 90$ мм и $W_g = 40$ мм. Полученные три нижних резонансных режима TE_{111}^y , TE_{211}^y и TE_{311}^y исследованы и изучены, но не имеют непрерывной полосы пропускания для ($S_{11} < -10$ дБ). Соотношение сторон высоты к длине играет важную роль в снижении добротности излучения и обеспечении непрерывной полосы пропускания, но это будет происходить за счет увеличения высоты и, следовательно, увеличения общего размера ДРА. Для того чтобы обеспечить непрерывную широкую полосу пропускания, два сегмента ДРА добавляются к прямоугольной структуре, они расположены в ортогональной плоскости к структуре плитки (длина a , ширина g_4 и высота b). Эти два сегмента имеют разную ширину и длину, первый имеет размеры (длина d , ширина g_1 и высота b), а второй-размеры (длина d_2 , ширина g_3 и высота b). Отклик кривой S_{11} смещается вниз к более низким частотам путем введения этих сегментов, так как общая эффективная ширина структуры ($g_4 + d_4$) будет увеличиваться. С увеличением глубины левого сегмента (g_1) до 2,5 мм новая и дополнительная ортогональная

резонансная мода начинает очень хорошо резонировать на частоте 2,94 ГГц, как показано на кривой коэффициента отражения на рис. 3. В то время как другой сегмент с толщиной (g_3) не может резонировать. Это связано с тем, что DWM используется для анализа трех резонансных частот; хорошее согласие достигается между моделируемыми желаемыми резонансными частотами (2,496 ГГц, 2,862 ГГц и 2,94 ГГц) и вычисленными с использованием уравнения (3) с небольшой погрешностью. С другой стороны, правый сегмент с размерами (длина d_2 , глубина g_3 и высота b) также анализируется DWM по его фундаментальному резонансу частоты 4,1 ГГц, что больше желаемой полосы частот. Таким образом, этот сегмент влияет только на изменение общей эффективной ширины. Кроме того, уровень согласования увеличивается между двумя нижними частотами путем добавления ортогональных сегментов, другими словами, глубина кривой S_{11} увеличивается так, что достигается непрерывная полоса пропускания между полосой частот 2,4 ГГц и полосой частот 3 ГГц.

Оптимизированные параметры предлагаемой антенны: $L_g = 90$ мм, $W_g = 40$ мм, $X_{dr} = 13$ мм, $Y_{dr} = 0$ мм, $a = 25$ мм, $g_4 = 1,4$ мм, $g_1 = 2,5$ мм, $g_3 = 1$ мм, $d = 13$ мм, $d_2 = 14$ мм, $b = 9$ мм, высота зонда 7,25 мм. На рис. 3 показана смоделированная кривая коэффициента отражения. По сравнению с антенной в эта конструкция меньше по объему, так как результирующий размер составляет около $0,00053\lambda_0^3$, а для этой-около $0,00064\lambda_0^3$. Также приведенное отношение объема к поверхности составляет около 0,674. Более того, эффективность излучения для всех режимов выше 99%.

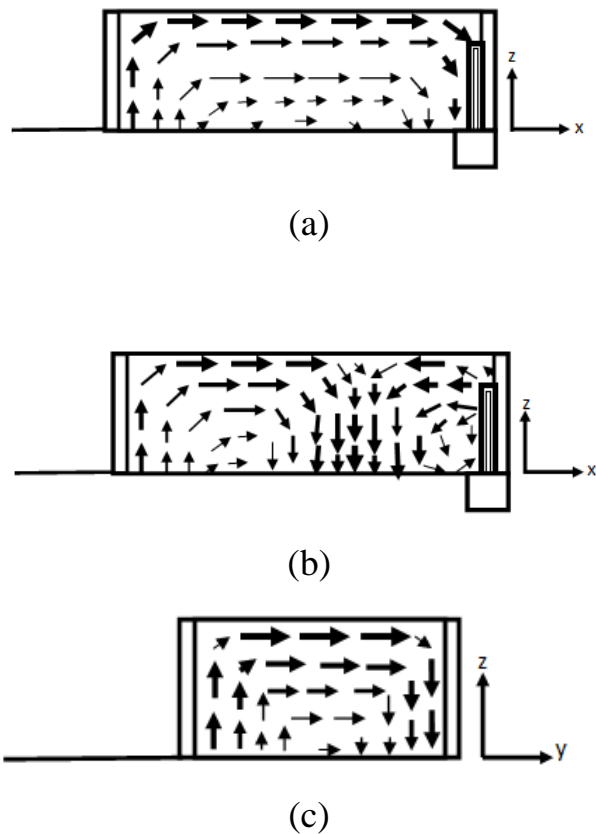


Рис. 2. Моделируемые распределения электрического поля в плоскости (а) XZ $f = 2.496$ ГГц, TE^y_{111} (б) XZ $f = 2.862$ ГГц, TE^y_{211} (в) YZ плоскости $f = 2.94$ ГГц, TE^x_{111}

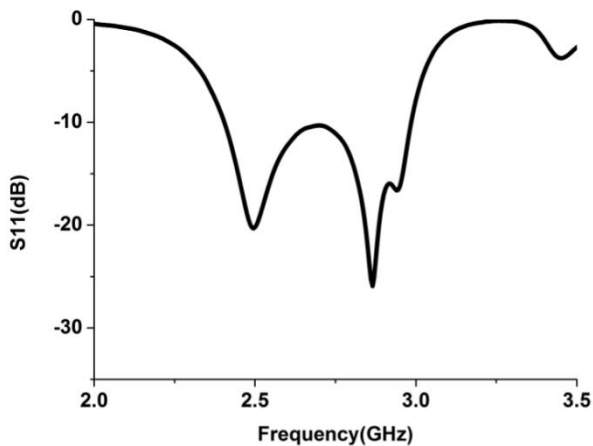
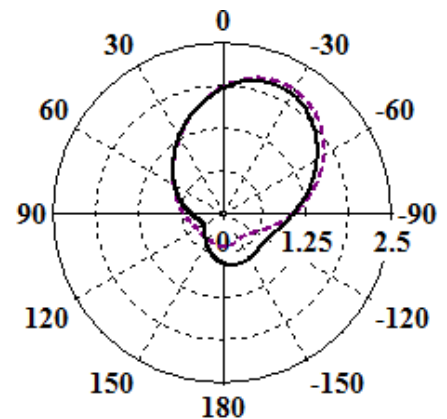


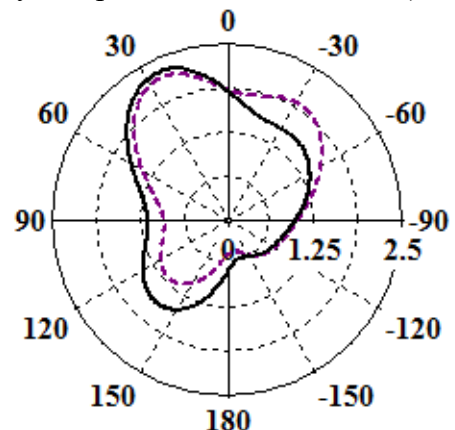
Рис. 3. Смоделированная кривая коэффициента отражения

Диаграмма направленности излучения дальнего поля показана на рис. 4. В отличие от диаграммы направленности для, которая имеет нулевую диаграмму направленности для второй резонансной

моды, для этой предлагаемой антенны диаграммы направленности излучения в плоскостях XZ и YZ имеют главный лепесток с -30 и 30 градусами от направления направленности соответственно. Это происходит по двум причинам; первый из них относится к влиянию положения и длины зонда на деформацию конфигурации поля внутри ДРА, если длина зонда превышает четверть длины волны, то его влияние будет увеличиваться при изменении характеристик излучения некоторых мод. Второй - это существование моды TE^x_{111} , которая резонирует вблизи второй резонансной величины TE^y_{211} .



(а) для плоскости X (сплошная - , $f = 2,496$ ГГц), (пунктирная - - -, $f = 2,862$ ГГц)





(b) плоскость YZ (сплошная, $f = 2,496$ ГГц),

(пунктирная - - -, $f = 2,862$ ГГц)

Рис. 4. Диаграмма направленности,
(a) плоскость XZ, (б) плоскость YZ.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан и оптимизирован U-образный ДРА с высокой диэлектрической проницаемостью. Было показано, что при использовании материала с высокой диэлектрической проницаемостью и выборе подходящей структуры компактная и широкополосная антенна может быть реализована для низкочастотных

приложений, таких как WLAN, Bluetooth и LTE. U-образная форма обеспечивает небольшое отношение объема к поверхности, что, в свою очередь, снижает добротность и, следовательно, увеличивает пропускную способность. Более того, стабильная картина излучения получается даже при наличии моды с нулевым излучением в бортовом направлении. Достигнутая полоса пропускания импеданса составляет от 2,4 до 3,0 ГГц, что составляет около 22%, что достаточно хорошо для текущих и новых приложений в этом диапазоне.

Литературы:

1. S. A. Long, M. W. McAllister, and L. C. Shen, "The resonant cylindrical dielectric cavity antenna," *IEEE Transactions. Antennas and Propagation*, vol.31, no.3, pp.406-412, 1983
2. M. W. McAllister, S. A. Long, and G. L. Conway, "Rectangular dielectric resonator antenna," *Electronics Letters*, vol. 19, pp. 218-219, 1983
3. R. K. Mongia, and P. Bhartia, "Dielectric resonator antennas— a review and general design relations for resonant frequency and bandwidth," *International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering*, vol. 4, pp. 230–247, 1994
4. R. K. Mongia, and A. Ittipiboon, "Theoretical and experimental investigations on rectangular dielectric resonator antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no.9, pp. 1348-1356, 1997
5. A. A. Kishk, B. Ahn, and D. Kajfez, "Broadband stacked dielectric resonator antennas," *Electronics Letters*, vol.25, no.18, pp. 1232-1233, 1989
6. G. P. Junker, et al., "Effect of air gap on cylindrical dielectric resonator antenna operating in TM₀₁ mode," *Electronics Letters*, vol.30, no.2, pp. 97-98, Jan.1994
7. G. Almpanis, C. Fumeaux, and R. Vahldieck, "Novel broadband dielectric resonator antennas fed through doublebowtie-slot excitation scheme," *Applied Computational Electromagnetic Society Journal*, vol.22, no.1, pp. 97-104, 2007
8. M. Khalily, et al. "Wide-band rectangular dielectric resonator antenna design," in *Applied Electromagnetics (APACE), IEEE Asia-Pacific Conference*. 2010
9. G. Almpanis, C. Fumeaux, and R. Vahldieck, "The Trapezoidal Dielectric Resonator Antenna. *Antennas and Propagation*," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no.9, pp. 2810-2816, 2008
10. T. A. Denidni, W. Zibin, and M. Niroo-Jazi, "Z-Shaped Dielectric Resonator Antenna for Ultrawideband Applications. *Antennas and Propagation*," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no.12, pp. 4059-4062, 2010
11. L. Xian-Ling, and T.A. Denidni, "H-Shaped Dielectric Resonator Antenna for Wideband Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 163- 166, 2008
12. A. A. Kishk, Y. Yan, and A. W. Glisson, "Conical dielectric resonator antennas for wide-band applications. *Antennas and Propagation*," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.50, no.4, pp. 469-474, 2002